

# 受端电网消纳区外电力规模的关键影响因素研究

杨林<sup>1</sup>, 葛毅<sup>2</sup>, 南开辉<sup>2</sup>, 谢珍建<sup>2</sup>, 宋晓伟<sup>3</sup>

(1.江苏省电力公司,江苏南京 210024;2.江苏省电力公司经济技术研究院,江苏南京 210008;

3.中国能建集团华东电力设计院有限公司,上海 200063)

**摘要:**在国家实施大气污染防治行动的推动下,华东交流特高压骨干网架基本成形,电网接纳区外来电的能力大幅提升。根据江苏电力负荷的发展趋势、本地电源建设的可能、江苏电网发展规划,分析了区外来电的规模和可能变化、电力受电通道的能力及限制因素等方面的情况,并经过大量的电力平衡和电力交换计算表明,“十三·五”江苏电网网架能够消纳区外来电的能力大于合理运行效率限制的区外来电消纳能力。

**关键词:**特高压;跨区电网;电力平衡;电力消纳

**中图分类号:**TM714.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2016)03-0021-04

进入“十三·五”后,随着国家整体能源战略的实施、能源生产与能源消费革命的推动以及大气污染防治行动计划的全面落实,区外来电对于江苏省供电安全、确保江苏省经济的快速发展也将发挥更为重要的作用<sup>[1]</sup>。按照国家电网公司安排,“十三·五”期间,江苏电网整体受电规模将达到 55 GW,约占 2020 年江苏省最高负荷(132 GW)的 42%,受电规模及占最高负荷比重与现状相比均大幅度提升。

与此同时,“十三·五”期间江苏省电力发展也面临新的形势:首先,从电力需求增速来看,随着经济发展进行新常态,“十三·五”江苏省电力需求增速也将进入新常态,从高速增长阶段向中速增长的阶段过渡<sup>[2]</sup>;其次,为积极推动能源生产与消费革命,江苏省内将进一步加快风电、太阳能等清洁能源的开发力度,煤电发展空间进一步受到限制;再次,结合全国整体能源战略,江苏后续区外来电以北方火电为主,西南水电将优先满足当地发展,并主要外送华中四省以及两广地区<sup>[3,4]</sup>;另外,江苏电网自身网架结构也进入了“多馈入、交直流混联、特大型”的发展新阶段<sup>[5-7]</sup>。

因此,为积极应对江苏省电力发展新形势,协调发展区内区外电源、统筹规划电源与电网建设,需对“十三·五”江苏电网消纳区外来电的能力开展深入分析,提出受端电网消纳区外电力规模的关键影响因素,在此基础上提出受端电网消纳能力提升的技术措施和建议。

## 1 电力消纳规模研究思路

从确保受电安全以及提高运行效率两方面综述受端电网消纳区外电力规模的关键影响因素<sup>[8-10]</sup>。就江苏电网接受区外来电适应能力开展相关研究工作,从江苏电网受电安全的角度研究江苏电网受电的合

理比例,其考虑的安全条件主要是供需平衡以及运行安全。供需平衡与负荷发展水平以及区内外电源供应能力密切相关;运行安全与受电通道能力以及电网安全稳定水平紧密联系(如图 1 所示)。



图 1 整体研究思路

根据江苏电力负荷的发展趋势、本地电源建设的可能、江苏电网发展规划,分析区外来电的规模和可能变化、电力受电通道的能力及限制因素等方面的情况,并经过大量的电力平衡和电力交换计算和必要的电气计算校核,在上述边界条件下得出在满足江苏电网受电安全条件下 2020 年的受电比例,如图 2 所示。

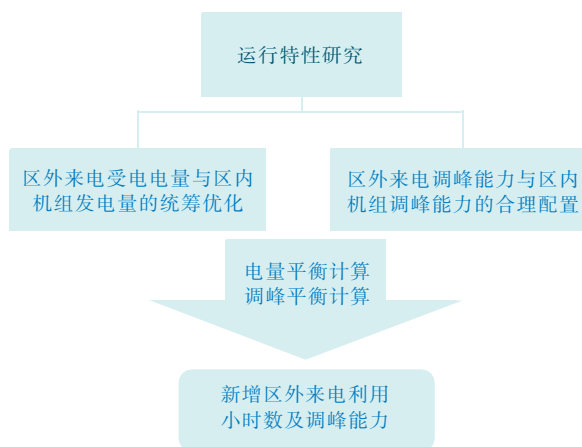


图 2 新增区外受电运行特性分析

区外来电的运行特性对于江苏电网整体运行的高效性以及经济性的影响主要体现在:(1) 区外来电受电电量与区内机组发电量的统筹优化;(2) 区外来电调峰能力与区内机组调峰能力的合理配置。根据提出的受电比例,通过电量平衡计算以及调峰平衡计算,对新增区外来电利用小时数以及调峰能力提出相关建议。

## 2 电力消纳规模理论依据

### 2.1 电力市场需求

预计“十二·五”后期及“十三·五”期间全省经济持续稳定增长基本态势不会改变,未来几年仍将保持不低于8%的增长预期。展望“十四·五”及“十五·五”的后10a,伴随着全省经济规模的进一步扩大及省内产业结构的进一步优化调整,江苏省经济增速将逐步放缓,预计“十四·五”及“十五·五”的经济增速回落至7%~6%。

结合经济发展形势预判以及国家电网公司的预测,预计到2020年,江苏省全社会用电负荷将达到132 GW,全社会用电量730 TW·h(见表1和表2)。可见,2020年以后江苏省全社会用电量增幅逐步降低,2025至2030年用电需求基本趋于饱和。

表1 江苏电网全社会用电量预测结果

年份	全社会用电负荷/GW	全社会用电量/(TW·h)
2005	35.83	219.3
2010	64.04	386.4
2015	85.73	511.5
2020	131.90	730.0
2025	152.10	825.1
2030	166.30	885.9

表2 江苏电网全社会用电量增长预测 %

项目	用电负荷	用电量
“十一·五”年均增长	12.3	12.0
“十二·五”年均增长	6.0	5.8
“十三·五”年均增长	9.0	7.4
“十四·五”年均增长	2.9	2.5
“十五·五”年均增长	1.8	1.4

2015年以来,受经济增速放缓及结构转型影响,江苏省电力需求增速继续放缓,针对电力需求增速低于预期的实际情况,相关规划主管部门也开展了负荷预测相关研究工作,预测结果显示,到2020年,全社会用电量将达到700 TW·h,“十三·五”期间年均增长6.5%;从全社会最高用电负荷预测结果来看,到2020年,全社会用电负荷将达到120 GW。

### 2.2 电力平衡和交换平衡

#### 2.2.1 江苏电网备用率选取

为应对电力负荷预测的误差、需求不确定性,保

证电网不间断供电、保持电网在额定频率下运行,电力系统的发电容量必需有一定的充裕度,即电源和电力负荷之间必需有备用容量,以保证电网在满足电力负荷的基础上,安全、稳定地运行。

电力系统电源规划的可靠性准则基本分为两大类:确定性准则和概率性准则。长期以来,我国电力系统规划一直采用确定性分析方法来确定装机规模:根据《电力系统设计技术规程》,系统的总备用容量可按系统最大发电负荷的15%~20%考虑,低值适用于大系统,高值适用于小系统。

结合《电力系统设计技术规程》的相关要求以及可靠性研究的相关成果,考虑江苏电网直流落点较多的实际情况,在进行电力平衡时,江苏电网的备用率宜相应取为15%。同时,为充分考量受端电网受电安全,电力交换分析中,备用容量由受端电网本地电源承担。

#### 2.2.2 江苏电网电力平衡及电力交换

目前,在2015年装机水平的基础上,分别对江苏电网2020年132 GW负荷水平以及120 GW负荷水平进行电力平衡和交换平衡分析,以确定江苏电网本地电源和区外电源建设的情况。

电网合理受电比例需要考虑的安全条件主要包括供需平衡和电网运行安全,研究思路如图3所示,电力供需平衡主要从负荷和区内外供电能力考虑;运行安全方面主要考虑电力交换通道能力及安全稳定水平。

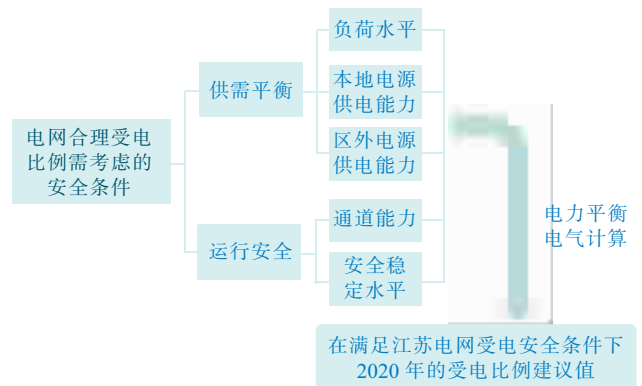


图3 区外合理受电比例分析

根据江苏电网可能接受的区外来电情况,将区外来电占最高负荷比例进行了细分,分为15%,25%,35%,45%,55%。从计算结果分析来看,在132 GW负荷水平下,2020年若考虑区外来电比例达55%,则江苏电网在2015年的基础上,需要新增的可用装机容量约为1.5 GW;若区外来电比例为15%,需要新增的可用装机容量则达54 GW。江苏电网已有区外来电15.94 GW,控制区外来电在12%以下时,江苏电网不需再购入新的区外来电。在区外来电占比25%~55%时,还需再购入新的区外来电17~57 GW。从电力交换角度来看,区外来电比例若从15%上升至55%,江苏

电网需要受入的电力则需对应增加20 GW至73 GW。

在120 GW水平下,2020年若考虑区外来电比例在较高状态达55%,则江苏电网在2015年的基础上,需要新增的电源容量经计算约为-5.6 GW。即在该比例下不需要新增加装机,因此2020年江苏电网可接受的区外来电最多达到50%。江苏电网已有区外来电15.94 GW,控制区外来电为13%以下时,江苏电网在已有区外来电基础上不需再购入新的区外来电。从电力交换角度来看,区外来电比例从15%提高至55%,江苏电网需要受入的电力相对应从18 GW提升至60 GW。

132 GW及120 GW负荷水平下,2020年江苏电网区外来电比例不同的情况下所受入的区外来电以及江苏电网可用装机的需要容量情况分别如图4、图5所示。

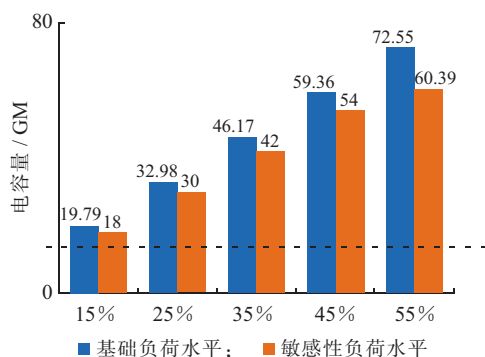


图4 2020年区外来电容量

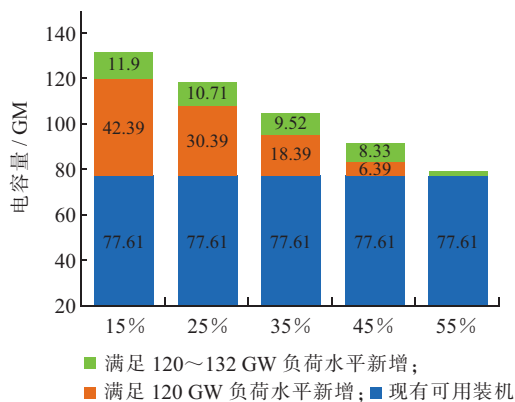


图5 2020年省内可用装机需要容量

### 3 区外来电规模影响关键因素

区外来电规模直接影响受端电网受电安全以及运行效率。

#### 3.1 关于负荷发展水平

电力市场空间决定区外受电规模。电力市场空间主要包括电力负荷和电量2个方面,影响电力电量增长的主要因素包括气候变化和区域经济发展。当受端电网的电力电量总量大、增长快,则有利于快速形成市场空间,提高区外受电规模。

根据相关负荷预测成果,预计到2020年,江苏省全社会用电负荷高方案将达到132 GW,全社会用电量为730 TW·h。江苏全省全社会用电负荷中方案为120 GW,全社会用电量为700 TW·h。

#### 3.2 关于省内电力供应能力

按照国家能源整体发展整体战略,江苏省将加快清洁能源的开发和利用,至2020年,省内水电、核电、风电及太阳能等清洁能源建设规模已较为明确。水电装机规模将达到2.6 GW,核电装机规模达到4 GW,风电装机规模达到10 GW,太阳能装机规模达到8 GW,生物质等其它类型电源装机1.2 GW,合计容量约26 GW。

“十三·五”期间,江苏省内电力供应能力主要取决于燃煤机组以及燃机机组的建设规模。其中,燃煤机组建设规模主要受制于煤炭消费总量控制政策影响,根据《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》要求,至2020年江苏省电煤比例需达到60%以上,若电煤比例按60%考虑,则可支撑煤电装机规模约80 GW,若进一步加快能源结构优化进度电煤比例可提升至70%,相应可支持装机规模可达到92 GW。

燃机建设规模受制于气源落实情况,目前已落实气源可支持装机约14 GW,为满足所有核准、路条约19 GW燃机项目,还需进一步落实后续气源。

由此,至2020年,江苏本地电源在考虑一次能源供应限制因素、电力排放环保等因素后,最大装机规模(扣除退役装机)在120~137 GW,可用装机容量(扣除受阻容量后)最大在96~114 GW。

#### 3.3 关于省外电力供应能力

江苏省接受外来电主要分为两大部分。一部分是华东统配电源,主要来自华东电网内其他省内地有关抽水蓄能电站、核电、水电和火电;另一部分是来自华东电网以外的区外电能,截至2014年区外来电装机规模约16 GW。

从“十三·五”华东区域整体能源发展格局来看,华东区域内除安徽省依然定位为外送省份外,其余各省电源建设除抽水蓄能电站外以本省消纳为主,不考虑外送,而安徽省受省内电力需求增长和资源条件制约,皖电东送规模也不具备进一步扩大的条件。

从华东电网以外的后续区外电来看,按照国家整体能源战略,“十三·五”及后续华东区域区外来电主要以北方煤电基地的外送电力为主。

从具体区外来电落实情况来看,目前较为明确的新增区外来电有锡盟—泰州特高压直流10 GW、山西—江苏特高压直流8 GW以及新疆—华东特高压直流江苏分电。

综合华东统配电源开发潜力以及华东区外电源开

发规划,至2020年,江苏电网目前已明确的区外来电规模达到36 GW,考虑国网公司规划的未落实区外来电后整体受电规模可以达到55 GW,若考虑争取华东区内抽蓄电站后,受电规模可以进一步达到56 GW。

### 3.4 关于受电通道能力及安全稳定水平

随着特高压交直流网架建设的进一步推进,“十三·五”期间,江苏电网整体受电格局也将发生较大变化,将在现有500 kV联络通道以及直流注入模式的基础上增加特高压交流受电平台,原有的以直流受电为主的格局也将转变为“强交强直”的受电格局。

从特高压受电平台受电能力来看,至2020年,江苏省内将建成以苏州站、泰州站、南京站、连云港站以及徐州站为核心的受电平台,平台受电能力主要受限于各站点主变规模,根据“十三·五”规划安排的建设规模,特高压受电平台整体受电能力约23 GW。

从500 kV联络通道受电能力来看,为配合特高压建设500 kV黄渡—石牌联络通道开断环入特高压苏州站,与现状5个联络通道相比减少1个,并结合华东整体电力流向,受电能力约5 GW,另外,考虑阳城来电3.3 GW容量后,500 kV联络通道整体受电能力在8 GW左右。

综合直流通道、特高压受电平台以及500 kV联络通道能力,至2020年,江苏电网整体受电能力可以达到59 GW。

从电网安全稳定水平来看,当发生主要受电通道退出、特高压受电平台故障、直流双极闭锁等故障时,江苏电网均可保持安全稳定。

分析其主要原因,主要得益于在以下几方面因素:

- (1) 电网规模大,抗风险能力强;
- (2) 积极融入华东区域主网架,事故支援能力强;
- (3) 结合区外来电容量,合理选择接入方式;
- (4) 进一步加强局部网架,积极构建受电平台;
- (5) 交流电网强度高,可承受直流输电功率大。

### 3.5 相关结果及建议

区外来电规模的确定需要综合考虑一系列相关因素,包括省内电力市场空间、电网的接纳能力以及区内区外电源的协调运行。基于2020年规划网架,江苏电网可满足在高峰时段受入59 GW电力的需要,但需考虑在特高压落点附近配置一定容量的动态无功补偿装置、加强落点附近500 kV网架建设以及优化布局省内事故备用容量。

省内电源和区外电源应合理安排发电计划、同步承担调峰,以满足电网安全稳定和经济运行的要求,2020年,江苏省新增区外来电的调峰幅度应不低于30%~35%。如果省内反调节特性的风电装机规模增加,区外来电的调峰幅度还需进一步提高。

大规模区外来电将挤占省内电源的市场空间,引起省内煤电的发电利用小时数大幅下降,且区外来电利用小时数越高,省内煤电的发电利用小时数越低。预计到2020年,省内煤电利用小时数仅为4200 h,相比2015年大幅下降。

研究结果显示,规划的江苏2020年主网架能够满足N-2故障或省内一条直流发生双极闭锁故障时安全稳定运行的要求。但是由于华东及江苏电网结构紧密,故障相互影响较大,在复杂严重故障情况下(2个直流同时失去),可能造成江苏受端系统电力缺口巨大,威胁到江苏电力系统的稳定。

## 4 结束语

按照国家整体能源发展战略,为满足江苏省电力需求增长,确保社会经济稳定发展,在平稳推进区内电源建设的同时仍须积极争取并落实区外来电。随着区外来电规模的大幅增加,江苏电网承接消纳区外来电的压力剧增,因此,有必要基于当前电力市场发展形势,以及江苏受端电网消纳区外来电的适应能力研究,进一步分析江苏消纳区外来电的规模影响因素,从而有针对性的在江苏电网规划中提出相应的措施,为进一步引入区外来电提供决策参考。

### 参考文献:

- [1] 俞震,赵可铮,俞敦耀.从华东电网的发展看跨大区联网的必然性[J].电网技术,1995,19(8):24-28,33.
- [2] 孙建平,缪奇剑.华东电网跨区电能消纳状况分析[J].华东电力,2007,35(5):106-108.
- [3] 章云雄,刘金官,刘华伟.大功率区外来电对江苏电网调度运行的影响及对策[J].江苏电机工程,2005,24(5):1-6.
- [4] 胡伟,刘金官,刘华伟.区外来电对江苏电网的影响及对策[J].华东电力,2006,34(1):52-56.
- [5] 谢珍建,王海潜,杨林,等.特高压交直流背景下的江苏电网无功电压控制分析[J].华东电力,2014,42(7):1310-1315.
- [6] 何健虎,王锋华,张帆.浙江电网区外来电状况浅析[J].浙江电力,2013(3):26-28.
- [7] 陈海涛,陈林,杨剑波.构筑稳定的区外来电通道——浙江省区外来电调研报告[J].浙江经济,2011(1):32-33.
- [8] 陈博,殷婷,黄一超,等.交直流区外来电背景下上海电网无功问题[J].电网与清洁能源,2015,31(4):66-71.
- [9] 陈博,徐逸清,黄一超,等.上海电网调峰及资源共享机制研究[J].电网与清洁能源,2015,31(7):37-43.
- [10] 徐新桥.湖北电能结构优化研究[D].武汉:华中科技大学,2006.

### 作者简介:

杨林(1970),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统规划管理工作;

葛毅(1987),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统规划、能源规划以及负荷预测工作;

区内故障,保障了区域电网的安全稳定运行。文中提出的基于变电站二次直流失电的区域距离保护系统已在国内某区域电网中投入实际应用,运行稳定。

#### 参考文献:

- [1] 王同文,谢名,孙月琴,等.智能变电站继电保护系统可靠性分析[J].电力系统保护与控制,2015,43(6):58-66.
- [2] 汤汉松,孙志杰,徐大可.数字化变电站的现状与未来[J].江苏电机工程,2007,26(S1):5-7.
- [3] 王超,王慧芳,张弛,等.数字化变电站继电保护系统的可靠性建模研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(3):8-13.
- [4] 薛禹胜,雷兴,薛峰,等.关于电力系统广域保护的评述[J].高电压技术,2012,38(3):513-520.
- [5] 李杰,李纲,陈希.承载电力广域控制信息的复杂网络可靠性研究[J].南方电网技术,2012,6(3):103-106.
- [6] 吴国旻,王庆平,李刚.基于数字化变电站的集中式保护研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(10):15-18.
- [7] 陈国炎,张哲,尹项根,等.广域后备保护通信模式及其性能评估[J].中国电机工程学报,2014,34(1):186-196.
- [8] 刘育权,华煌圣,李力,等.多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J].电力系统保护与控制,2015,43(5):112-122.
- [9] 李俊刚,张爱民,彭华夏,等.区域层次化保护系统研究与设计[J].电力系统保护与控制,2014,42(7):34-40.
- [10] 杨春生,周步祥,林楠,等.广域保护研究现状及展望[J].电力系统保护与控制,2010,38(9):147-150.

#### 作者简介:

- 戴光武(1984),男,江苏盐城人,工程师,从事电力系统继电保护装置的研究和开发工作;
- 谢华(1983),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统继电保护装置的研究和开发工作;
- 徐晓春(1984),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统继电保护装置的研究和开发工作;
- 赵青春(1980),男,湖北仙桃人,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究和管理工作;
- 朱晓彤(1976),男,江苏常州人,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究和管理工作。

## Power Loss Area Distance Protection Based on Substation's Secondary DC Power Loss

DAI Guangwu, XIE Hua, XU Xiaochun, ZHAO Qingchun, ZHU Xiaotong

(NR Electirc Co.Ltd., Nanjing 211102, Chin)

**Abstract:** When power system substation protection's secondary DC power is lossed, and soon afterwards if a fault occurs in the power loss area, the protect devices can not isolate the fault quickly. This paper propoes a power loss area distance protection system t solve the problem. The architecture of the protection system and its construction mode for substation are presneted. The control system architecture and its construction mode for the area protection in substations are introduced in detail. Substation's secondary DC power loss is judged by the idependent power sources of process layer communication network and protection. The general scheme of power loss area distance protection based on substation's secondary DC power loss is propsoed, which can quickly isolate the fault in the DC power loss area. The RTDS simulation results show the presented method can correctly judge substation's secondary DC power loss state, quickly isolate the fault in the power loss area, and ultimately improves the stability of the system.

**Key words:** secondary DC power loss; fault isolation; control system of area protection; area distance protection

(上接第24页)

南开辉(1973),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统规划管理及技术经济工作;

谢珍建(1980),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统规划

管理工作;

宋晓伟(1984),男,上海人,高级工程师,从事电力系统规划设计工作。

## Research on the Key Influencing Factors of External Power Scale for Receiving End Power Grid

YANG Lin<sup>1</sup>, GE Yi<sup>2</sup>, NAN Kaihui<sup>2</sup>, XIE Zhenjian<sup>2</sup>, SONG Xiaowei<sup>3</sup>

(1.Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 2. Jiangsu Electric Power Company Economic Research Institute, Nanjing 210008, China; 3. East China Electric Power Design Institute Co. Ltd., Shanghai 200063, China.)

**Abstract:** Under the action of promoting air pollution control action in the country, the East China UHV backbone network has formed, which increases the ability to accept external power. This article mainly analyzes the key influence factors of the scale of power consumptive area. Supply-demand balance and safe operation are also considered. According to the electric power load increase trend, local power sources constructing plan and power grid developing plan, the scale of outer power, possible changes, power transfer channel capacity and some limiting factors are considered. After the calculations of internal power balance and power exchange, it is found that the ability to accept outer power of Jiangsu power grid by 2020 is great enough.

**Key words:** UHV; inter-connected grid; power balance; power consumption